

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia- ja Maateaduste Instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö inimgeograafias

**Mobiilpositsioneerimise andmete töötlemise võimalused
tööreiside keskkonnakoormuse leidmiseks**

Taavi Rebane

Juhendaja: Age Poom MSc

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Teoreetilised alused.....	5
1.1 Ärireisid tänapäeva maailmas.....	5
1.2 Transpordi keskkonnamõju	5
1.3 Liikumisharjumuste uurimine.....	6
1.4 Mobiilpositsioneerimise metoodika	7
1.5 Mobiilpositsioneerimise andmete töötlemine.....	8
1.5.1 Liikumiste summa meetod	8
1.5.2 Ellipsi meetod	8
1.5.3 Konvekspolügooni meetod	9
2. Materjal ja meetodid.....	10
2.1 Andmed	10
2.2 Metoodika.....	10
2.2.1 Andmete sorteerimine	10
2.2.2 Mobiilpositsioneerimise andmete sidumine intervjuu andmestikuga.....	10
2.2.3. Läbitud teekonna meetod	12
2.2.4 Kumulatiivse distantssi täpsuse arvutamine	12
2.2.5 Ellipsi meetod	12
2.2.6 Konvekspolügooni meetod	13
2.2.7 Korrelatsioonikordajate leidmine.....	13
3. Tulemused ja arutelu	15
3.1 Läbitud teekond	15
3.2 Ellipsi meetod	18
3.3 Konvekspolügooni meetod	19
3.4 Meetodite omavaheline võrdlus.....	20
Kokkuvõte	23
Summary	24
Kasutatud kirjanduse loetelu	26

Sissejuhatus

Mobiilpositsioneerimine on üks mitmest viisist, mille abil koguda andmeid inimeste liikumiskäitumise kohta. Tartu Ülikooli geograafia osakonnas on mobiilpositsioneerimist kasutatud juba pea eelmise kümnendi keskpaigast. Sellisel teel kogutud andmete üheks probleemiks on aga nende mahukus, mistõttu on vajalik rakendada eri meetmeid, et suurest andmekogust järeldusi teha.

Transpordiuuringute raames on reisimine jagatud reeglina kolme kategooriasse: pendelränne, tööreisid ja erasõidud (Holley *et al.* 2008). Esimene neist hõlmab ainult liikumist kodust konkreetseks fikseeritud töökohta ja tagasi, teine kategooria käsitleb muid tööga seotud käike ja kolmas kategooria sisaldab kõiki teisi sõite, mis pole tööga seotud (Holley *et al.* 2008). Praeguse töö raames on fookuses ainult teine kategooria, mis tähendab, et vaatluse alt jäävad välja nii pendelränne kui ka isiklikud sõidud.

Tööreisid moodustavad 2002. aasta USA uuringu järgi 16% kõigist pikamaareisidest (reis, mille kaugeim sihtkoht asub kodust vähemalt 80 km kaugusel, Aguilera 2008) ning mõjutavad vaid väikest osa töötajatest (Färndberg, Vilhelmson 2003, Aguilera 2008). Selle töötajate grupi jaoks on mobiilsus aga väga oluline ja aeganõudev aspekt nende tööalases elus (Belton, de Coninck 2006, Westman, Etzion 2002, *cit.* Aguilera 2008). Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia (IKT) lahendused võimaldavad küll oluliselt vähendada vajadust tööreiside järele, kuid teatud puhkudel on näost näkku kohtumised kas vajalikud või kokkuvõttes kasulikud.

Transpordi puhul ei saa mööda vaadata keskkonnamõjust, mis ulatub kohalikest probleemidest nagu müra- ja õhureostus kuni globaalsete kliimamuutusteni (Ülengin *et al.* 2010). Viimane on peaaesjalikult põhjustatud üha kasvavatest CO₂ õhkupaiskamisest, millest transport moodustab tervelt veerandi. Seetõttu tuleb riiklikul tasandil palju tähelepanu pöörata jätkusuutliku transpordipoliitika arendamisele, viimane eeldab aga vastavasisuliste uuringute läbiviimist ja tulemuste põhjal informeeritud otsuste tegemist (Ülengin *et al.* 2010).

Uurimustöö andmeteks on 25 inimese intervjuud ja mobiilpositsioneerimise andmed, mis pärinevad 2013. aasta kevadel läbi viidud väikeettevõtete liikumisuuringust (Poom *et al.* 2015). See töö uuris kolme teadmispõhise väikeettevõtte reisivajadusi, ärireiside seaduspärasusi ja nendest tulenevat keskkonnakoormust erinevate tööprotsesside käigus (Poom *et al.* 2015).

Töös võrreldakse tööreiside jooksul läbitud teekonda ja selle pikkust, tööreiside andmepunktide moodustatud standardhälbe ellipsit ning konvekspolügooni meetodit.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on välja selgitada, milline eeltoodud meetoditest sobib mobiilpositsioneerimise andmete põhjal kõige paremini tööreiside keskkonnakulu uurimiseks. Uurimisküsimused on järgnevad.

1. Millise täpsusega on võimalik hinnata kumulatiivset distantssi mobiilpositsioneerimise andmete põhjal? Kas see on piisav ärireiside keskkonnamahutuse hindamiseks?
2. Milliseid järeldusi on tööreiside keskkonnakulu kohta võimalik teha ellipsi meetodi põhjal? Kuidas see sobitud antud uurimuse väikse andmemahuga?
3. Kui hästi sobib tööreiside keskkonnakulu uurimiseks konvekspoliügooni meetod?

1. Teoreetilised alused

1.1 Ärireisid tänapäeva maailmas

Töölased reisid moodustavad umbes 14% kõigist rahvusvahelistest reisidest (World Tourism Organization 2014) ning on ennustatud, et lennuliikluses ärireiside osakaal tulevikus suureneb (Patterson 2008, *cit.* Denstadli *et al.* 2013).

Näost näkku kohtumised pakuvad äris tihti olulist mitteametlikku atmosfääri, mida virtuaalsete suhtluskanalite kaudu on raske edasi anda (Denstadli *et al.* 2013). Norras läbi viidud uuring ärireisijate seas leidis, et tervelt kaks kolmandikku vastanutest ei näinud IKT lahendustel potentsiaali ärireiside arvu vähendamiseks. Samas leidis uuring positiivse seose selle vahel, kui palju inimesed aasta jooksul tööreise teevad ning kui suur on nende usk videokonverentside võimesse ärireise asendada. Lisaks leiti uuringus, et töötajad, kellel on ligipääs „traditsioonilistele“ videokonverentsi lahendustele (näiteks eraldi koosolekuruumis), on optimistlikumad videokonverentside osas kui need, kes saavad kasutada vaid „uusi“ tehnoloogiaid (peamiselt videokonverentsi programmid personaalarvuti jaoks) (Denstadli *et al.* 2013).

IKT lahendusi ning tavapäraseid näost näkku kohtumisi ei saa aga pidada üksteist välistavateks või asendavateks kommunikatsioonivahenditeks (Faulconbridge *et al.* 2009). Vastupidi, suurenenud tung kasutada suhtlemiseks virtuaalseid kanaleid võib olla seotud suureneva reisivajadusega. See tähendab, et mobiilsuse ning suhtluse eri liike tuleks vaadata üksteisega koostöös ning üksteisest sõltuvalt (Faulconbridge *et al.* 2009).

1.2 Transpordi keskkonnamõju

Transport on märkimisväärse ja mitmekülgse keskkonnamõjuga (Rodrigue 2013). Need võib laias laastus jagada kolmeks: otsesed, kaudsed ja kumulatiivsed mõjud. Kui otseseid mõjusid on lihtsam ära tunda ja nende mõju vähendada, siis kaudsete ja kumulatiivsete mõjude puhul on negatiivsete faktorite tähtsus tihti raskemini mõistetav, kuigi tagajärjed võivad olla suuremad (Rodrigue 2013).

Peamiselt kohalikul tasandil mõjutab transport õhukvaliteeti, mürataset, mullakihti, bioloogilist mitmekesisust ja maakasutust. Sõidukite, rongide, laevade ja lennukite poolt paisatakse õhku mitmeid elusorganismidele kahjulikke aineid (Rodrigue 2013). Vingugaas (CO) ja lämmastikdioksiid (NO₂) on otsese kahjuliku mõjuga, samas kui vääveldioksiid (SO₂) ja erinevad lämmastikoksiidid (NO_x) viivad atmosfääris happeliste ainete tekkimiseni ning

happevihmadeni, mille geograafiline ulatus on juba oluliselt suurem. Müra mõjutab samuti otseselt inimeste füüsilist ja vaimset tervist, lisaks on sellel kaudsed mõjud linnalises keskkonnas, näiteks maa väärtuse ja maa kasutuse osas. Mullakihti mõjutab teede, raudteede jt transpordirajatiste ehitamine, mille käigus eemaldatakse suures ulatuses mulla pealiskihti; lisaks jõuavad mulda kahjulikud ained kütuse- ja õlireostusega. Bioloogiline mitmekesisus kannatab metsade maharaiumise ning elupaikade lõhkumise tõttu (Rodrigue 2013).

Transpordis on konkurentsilt suurimaks energiaallikaks nafta, mis moodustab 81% transpordisektori energiakasutusest (Chapman 2007). Selle tõttu on transport üks olulisemaid panustajaid inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitmetesse, millest olulisimaks peetakse süsihappegaasi. Transport moodustab tervelt 26% globaalsest inimtekkelisest CO₂-st ning on üks väheseid tööstussektoreid, kus süsihappegaasi heited jätkuvalt suurenevad. Sellest omakorda 65% tuleb maanteetranspordi arvelt. Teisel kohal CO₂ heitmete koguse poolest on lennutransport, kuid lennutranspordi puhul tuleb arvestada, et kasvuhoonegaasid paisatakse otse atmosfääri ülaossa, kus nende mõju on oluliselt suurem. Auto- ja lennutranspordi puhul on pealegi kasv kiirem kui transpordisektoris tervikuna (Chapman 2007).

1.3 Liikumisharjumuste uurimine

Kõige tavalisem viis inimeste liikumisharjumuste uurimiseks on nn reisipäeviku pidamine, mis annab detailse ülevaate uuringus osaleja liikumistest (Forrest, Pearson 2005, *cit. Reinau et al.* 2014). Sellel meetodil on aga mitmeid piiranguid, näiteks tööga seotud käike märgitakse päevikusse hoolsamini kui erasõite. Lisaks on uuringus osalejale pandud võrdlemisi suur koormus ja seetõttu väheneb uuringu läbiviimise jooksul päeviku pidamise täpsus (Forrest, Pearson 2005, *cit. Reinau et al.* 2014).

Järjest enam on kasutust leidmas GPS-i põhised uurimismeetodid. GPS on võrdlemisi täpne ning võimaldab vältida mõningaid reisipäevikuga seotud probleeme, näiteks seda, et inimesed ei pane kõiki oma reise päevikusse kirja. Samas on traditsioonilisel GPS-i põhisel meetodil ka probleeme, näiteks eeldab see uuringus osalejalt eraldi seadme kaasaskandmist ning selle akude laadimist. GPS-i signaal muutub nõrgemaks või kaob tervenisti näiteks maa all, hoonetes või kõrge vegetatsiooni varjus, mis muudab ka mõõtmistulemusi ebatäpsemaks (Houston *et al.* 2014). Alternatiiviks on nutitelefoni rakenduse põhine positsioneerimissüsteem, mis kasutab näiteks telefoni enda GPS antenni, kiirendusmõõdikut ja WiFi võrke, et uuritava asukohta määrata ja salvestada (Puussaar 2014).

Mobiilne positsioneerimine ja GPS meetod sarnanevad selle poolest, et mõlemal juhul toimub uuritava asukoha määramine automaatselt (Houston *et al.* 2014). Mobiilpositsioneerimise erinevus seisneb selles, et seadme asukoht määratakse mobiilsidevõrgu, mitte satelliitide abil (Ahas *et al.* 2007). Lähemalt on mobiilpositsioneerimise metoodikast juttu järgmises peatükis.

1.4 Mobiilpositsioneerimise metoodika

Mobiilpositsioneerimine on üks osa asukohapõhistest teenustest, mida on võimalik kasutada geograafiliste ja sotsiaalsete uuringute raames.

Mobiilpositsioneerimise võib jagada kahte liiki: passiivne positsioneerimine ja aktiivne positsioneerimine (Ahas *et al.* 2007). Esimese puhul kogutakse andmeid automaatselt logifailides, mis tekivad võrgus tehtavate kõnede käigus. Aktiivse mobiilpositsioneerimise puhul saadakse mobiiltelefoni asukoht teada, saates päringu raadiolaineid kasutades (Ahas *et al.* 2007).

Mobiilsidevõrgus on seadme asukohta võimalik määrata mitmel eri viisil: võrgu *cell ID* järgi, triangulatsiooni, nurga, raadiolainete saabumisaja järgi (Ahas *et al.* 2007). Kõige sagedamini kasutatakse konkreetse antenni katvusala identifitseerimisnumbrit (ing k *cell global identity* ehk CGI). Ühe mobiilsidevõrgu antenni katvusala on aga liialt suur, et selle põhjal väga täpset asukohta määrata, seetõttu on Eestis aktiivse mobiilpositsioneerimise puhul kasutatud eelkõige kahe meetodi kombinatsiooni. Esiteks määratakse seadme asukoht CGI järgi, seejärel täpsustatakse asukohta raadiolainete levimisele kulunud aega arvestades (ing k *timing advance* ehk TA). Nii on võimalik välja selgitada sektori- või ringikujuline ala, kus mobiiltelefon päringu saatmise hetkel asus (Ahas *et al.* 2007).

Mobiilpositsioneerimise põhiline probleem on selle suhteline ebatäpsus, võrreldes näiteks GPS-i põhiste mõõtmistega (Ahas *et al.* 2007). Mobiilpositsioneerimise puhul on määravaks faktoriks mobiilsidevõrgu antennide tihedus: mida suurema tihedusega antennid paiknevad, seda väiksem on iga antenni poolt kaetud ala ning seda suurem on positsioneerimise täpsus. Seetõttu on mobiiltelefoni asukohta võimalik täpsemini määrata linnades kui maal. Iseloomulikuks probleemiks võib teatud juhtudel olla ka telefoni sage lülitumine ühelt võrgult teisele, kuigi telefoni asukoht ise jääb samaks. Seda võib põhjustada näiteks teise antenni tugevam signaal või parem läbilaskevõime antud ajahetkel. Taoline ilming tekitab aga andmestikku üleliigset müra. Eelmainitud kahe meetodi kombineerimise probleemiks on ka see, et mobiilse seadme antennist kaugenedes väheneb positsioneerimise täpsus eksponentsiaalselt (Ahas *et al.* 2007).

1.5 Mobiilpositsioneerimise andmete töötlemine

Mobiilpositsioneerimise andmestik võimaldab lisaks paljule muule hinnata indiviidide liikumisareaali suurst või igapäevaste liikumiste koguhulka.

1.5.1 Liikumiste summa meetod

Liikumiste summa meetodi puhul leitakse indiviidi igapäevaste (või -nädalaste, -kuiste) liikumiste kogusumma.

Ahase jt (2010) uurimustöös kasutati aktiivset mobiilpositsioneerimist kombineerituna intervjuudega, et uurida Tallinna eeslinnade elanike liikumisharjumusi. Tolles töös arvutati kumulatiivsed teekonnad kõigi 15-minutilise intervalliga kogutud punktide abil ja esitati kurvidena. Statistiliselt uuriti neid kumulatiivseid teekondi nii keskmise kui ka mediaani abil, sest keskmine on liialt mõjutatud mõnest üksikust pikemast sõidust.

1.5.2 Ellipsi meetod

Ellipsi meetod on üks võimalus, kuidas graafiliselt kujutada indiviidi või leibkonna liikumisala (ing k *activity space*) (Newsome *et al.* 1998).

Ellipsi meetod on mobiilpositsioneerimises ilmselt kõige laiemalt kasutuses olnud (Ahas *et al.* 2007). Selle meetodi puhul generaliseeritakse aegruumilised liikumised ellipsiks, mille kuju ja suurus on määratud peamise ja sekundaarse telje ning nende suundade poolt. Ellipsi keskpunkt määratakse kõigi punktide aritmeetilise keskpunkti järgi, võttes arvesse ka punktide külastamise sagedust (Ahas *et al.* 2007).

Ellipsi meetod on kasulik eelkõige suurte andmehulkade töötlemiseks, sest annab hea ülevaate sellest, kuidas toimub suurem osa indiviidi igapäevasest liikumisest (Ahas *et al.* 2007). Sekundaarne telg annab aga infot selle kohta, kui palju külastatakse punkte, mis põhilisest liikumistest kõrvale jäävad (Ahas *et al.* 2007).

Lisaks pakub ellips ka muid võimalusi indiviidide liiklemise võrdlemiseks. Peamiseks võimaluseks on ellipsi pindala leidmine, mis annab võimaluse võrrelda inimeste liikumisareaali suurst. Teiseks võimaluseks on leida peatelje ja sekundaarse telje omavaheline suhe, mis määrab ellipsi „ümaruse“ (Newsome *et al.* 1998).

Ellipsi fookusteks on tavaliselt töö-kodu ankurpunktid. Ankurpunkte ennast on võimalik määrata ka ainult mobiilpositsioneerimist kasutades (Ahas *et al.* 2010). Lisaks töö-kodu ankurpunktidele on ka muid tähendusrikkaid punkte, mis ellipsi kuju määravad. Järv jt (2014) koostasid mobiilse positsioneerimise andmestiku põhjal igale indiviidile kaks erinevat ellipsit.

Esimene neist võttis kuu aja jooksul arvesse kõiki ankurpunkte, mille põhjal loodi n-ö ühe kuu aktiivsuseala. Lisaks loodi päevane liikumisala (ing k *daily activity space*) oluliste päevaste ankurpunktide vahel.

1.5.3 Konvekspolügooni meetod

See meetod pole siiani inimeste liikumisandmete uurimisel kasutust leidnud, kuid võrdluse huvides on ka seda uurimustöös käsitletud.

Minimaalse konvekspolügooni meetod on laialt aktsepteeritud meetod ökoloogias, kus seda on kasutatud loomaliikide ala leidmiseks (Burgman, Fox 2003). Selle meetodi üheks peamiseks tugevuseks on selle lihtsus. Seda meetodit kasutatakse, et teha järeldusi liikide ala suuruse kohta ning jälgida selle muutusi, mis on eriti oluline liikide säilimise seisukohast (Burgman, Fox 2003).

Konvekspolügoon mõõdab absoluutset ala (Nilsen *et al.* 2008). See võib küll olla oluline looduskaitse seisukohast, aga see ei anna infot selle kohta, missugused ökoloogilised faktorid mõjutavad loomade ala (Nilsen *et al.* 2008).

Minimaalne konvekspolügoon leitakse nii, et andmestiku punktide põhjal luuakse polügoon, mis sisaldab kõiki punkte ja kus polügooni sees pole ühegi nurga suurus üle 180 kraadi (Burgman, Fox 2003). Sellest johtub aga võrdlemisi kehv täpsus, eriti kui tegemist on irregulaarsete aladega (Burgman, Fox 2003).

Ökoloogias on järjest laiemat kasutust leidnud aga tuumalade tiheduse indikaator (ing k *kernel density estimator*), sest see näitab ära ka selle, kui suur on tõenäosus teatud alal isendit näha. Sisuliselt leitakse loomade jälgimise põhjal alad, kus isendi nägemise tõenäosus on suurem ning alad, kus see on väiksem (Seaman, Powell 1996). Seega ei saa enam rääkida ühtlasest alast, vaid tõenäosusast, kus eri piirkondades on isendi nägemise tõenäosus erinev. Sõltuvalt isendist võib terves liikumisalas olla üks nn tulipunkt, aga võib olla ka mitu (Seaman, Powell 1996). Antud uurimustöö seda meetodit aga käsitleda ei jõua.

2. Materjal ja meetodid

2.1 Andmed

Poom jt (2015) viisid 2013. aasta kevadel läbi väikeettevõtete liikumiskäitumise uuringu, milles osales 30 inimest kolmest ettevõttest. Andmeid koguti nii intervjuu kui ka aktiivse mobiilpositsioneerimise teel. Mobiilse positsioneerimise andmete kogumise korraldas ettevõtte Positium ning kõik uuringus osalejad kasutasid mobiilioperaatori EMT võrku. Andmete kasutamiseks akadeemilisel eesmärgil sõlmis käesoleva töö autor lepingu Positiumi esindajaga. Tegemist on isikuandmetega, mistõttu pole algandmeid töö lisas võimalik kajastada. Andmete kajastamiseks töö joonistel määrati igale uuritavale eraldi kood.

Intervjuu käigus pandi kirja uuritavate tööreisid vahemikus 30.04.2013 kuni 31.05.2013. Iga tööreisi kohta kirjutati üles reisi sihtkoht, eesmärk, ürituse iseloom, transpordivahend, põhjus liiklusvahendi valimiseks, mitmekesi autos oldi (kui see liiklusvahend valiti), mida veel reisiril tehti, kontaktide arv sihtkohas, kogu reisi kestus ning Tartu-sisesed sõidud.

Lisaks koguti infot näiteks peamise liikumisvahendi, töökoha, elukoha, elukoha tüübi jmt kohta. Neist kõige olulisem oli antud uurimustöö raames elukoht, sest see oli vajalik mobiilpositsioneerimise andmete sidumiseks intervjuu andmetega.

Aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid koguti osalejate nõusolekul 25 inimeselt ajavahemikus 30.04.2013 kuni 07.06.2013. Mobiiltelefoni asukoha määramise ajavahemikuks oli 15 minutit ja seda tehti iga veerand-, pool-, kolmveerand- ja täistund. Kõigi osalejate peale kokku andis see ligikaudu 78 000 andmerida, milles sisaldus osaleja ID, asukoha määramise aeg ja koordinaadid ristkoordinaatide süsteemis L-EST 97. Asukohaandmeid määrati ainult Eesti-siseselt, mistõttu rahvusvaheliste reiside kaasamine sellesse uuringusse polnud võimalik.

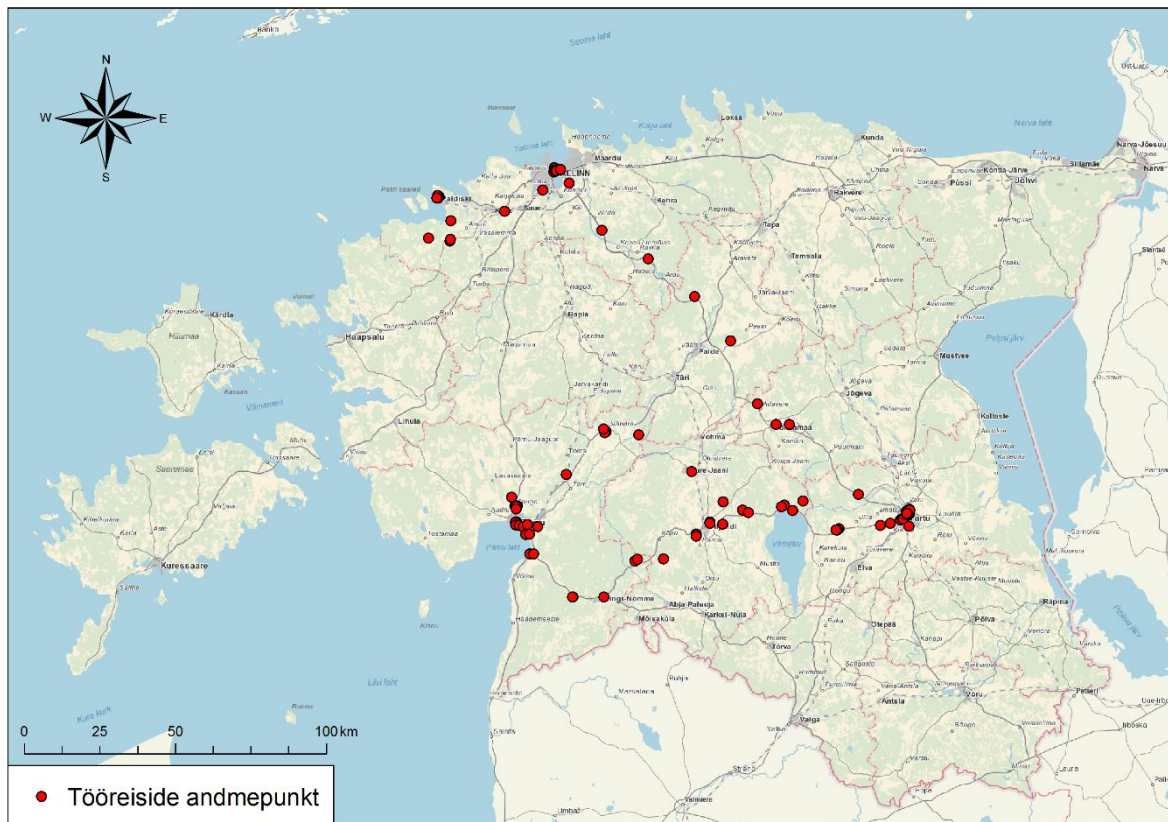
2.2 Metoodika

2.2.1 Andmete sorteerimine

Uurimustöö fookuses olid ainult tööalased reisirid, mistõttu tuli andmeid enne töötlemist filtreerida. Esiteks võeti käsile ajaline aspekt ning alles jäeti ainult need asukohaandmed, mis mõõdeti tööpäeval ajavahemikus 07.00 – 19.00. See iseloomustab tinglikult tööpäeva pikkust ning jätab piisava ajavaru, et sinna sisse mahuks ühepäevane tööalane reis Eesti piires. Esialgne andmetöötlus viidi läbi programmis Microsoft Excel 2013. Järgnevate tööetappide käigus viidi läbi täiendav analüüs tööreiside eristamiseks.

2.2.2 Mobiilpositsioneerimise andmete sidumine intervjuu andmestikuga

Esmalt viidi Exceli tabeli kujul olevad andmed üle *shape*-faili kujule kasutades programmi QGIS Desktop 2.8.1. Iga andmepunkti kohta oli atribuutide tabelis kirjas osaleja ID, asukohta määramise aeg ning punkti koordinaadid. Seejärel moodustati punktide ID alusel eraldi kihid, mis esindasid igat erinevat uuringus osalejat. Joonisel 1 on näha ühe uuringus osaleja tööreiside andmepunktid, kujutatuna Maa-ameti kaardil.



Joonis 1. Osaleja koodiga „19“ tööreiside andmepunktid. Aluskaart: Maa-ameti

Seejärel võrreldi andmepunktide asukohta ning nende määramise kuupäevi intervjuu käigus kirja pandud infoga, et siduda iga andmekiht ühe konkreetse reispäevikuga. See oli vajalik selleks, et omakorda sõeluda välja töösõidud muudest käikudest, näiteks puhkuse ajal tehtud sõidud või muud erasõidud. Alles jäeti ainult nende päevade andmed, kuhu olid reispäevikus märgitud tööreiside toimumised.

Sel tööetapil tuli välja, et mitte kõik andmed ei sobi edasiseks töötluks. Kolme inimese puhul oli andmepunktide arv väga väike või lünklik. See võib viidata sellele, et inimese telefon oli märkimisväärse osa ajast välja lülitatud, samas ei saa ka välistada muid tehnilisi probleeme. Lisaks polnud kahe inimese puhul reispäevikus ühtegi tööreisi, mistõttu tuli ka need välja jätta. Kokkuvõttes jäid alles 20 inimese liikumisandmed, mida edasi töödeldi.

20 inimesest 17 puhul oli elukohaks Tartu ning kolme puhul Tallinn. Andmete töötlemise vaatenurgast sellel suurt vahet polnud, sest elukohast sõltuv pendelränne uuringu fookusesse ei kuulunud.

2.2.3. Läbitud teekonna meetod

Selle etapi käigus loodi punktide põhjal joonelemendid, kasutades ArcMap 10.2 programmis olevat *Points to Line* tööriista, kus joone loomise järjestuseks valiti punktide ajaline järjestus. Joonelemendid loodi iga kihi kohta eraldi, nii et kokku tekkis 20 eraldi joonobjekti. Seejärel arvutati iga joonobjekti jaoks selle pikkus kilomeetrites. Lisaks arvutati välja keskmine läbitud km arv osaleja kohta nendel päevadel, kui tööreisiid toimusid.

2.2.4 Kumulatiivse distantssi täpsuse arvutamine

Mobiilpositsioneerimise andmete salvestamine toimus antud uurimustöö puhul 15-minutilise intervalliga, mistõttu tekib paratamatult sisse viga kumulatiivse distantssi arvutamisel. Distantssi mõõtmine andmepunktide vahel toimub sirgjoonena, aga maanteed ja raudteed ei kulge asulate vahel pea kunagi kõige otsemat teed mööda. Lisaks tuleb sisse ka mobiilpositsioneerimisel tekkiv asukoha määramise ebatäpsus, mis mängib eriti suurt rolli asulavälistes piirkondades, kus mobiilivõrgu antennide tihedus on väiksem.

Reaalsuses läbitud vahemaa ja andmepunktide põhjal arvutatud distantssi suhte leidmiseks valiti kõige pealt välja 20 tööreisi, mis kataksid võimalikult suure osa erinevatest sihtkohtadest. Reisi alg- ja lõpp-punktide määramiseks kasutati nii visuaalset vaatlust kui ka intervjuude infot. Esiteks arvutati välja tööreisi moodustavate joonobjektide kogupikkus ehk distantss alg- ja lõpp-punkti vahel. Teiseks leiti vahemaa mööda maanteed Google Maps abil. Kahel juhul oli transpordivahendiks rong, siis valiti mobiilpositsioneerimise andmestikus alguspunktiks raudteejaamale kõige lähemal asuv punkt. Teekonna pikkust mööda raudteed vaadati 2014. aasta Eesti Raudtee jaamade ja vahemaade kaardilt. Saadud andmed kanti tabelisse ning arvutati reaalse ja positsioneerimisandmete põhjal leitud distantssi suhe nii iga reisi kohta eraldi kui ka keskmiselt.

2.2.5 Ellipsi meetod

Ellipsi meetodi puhul võeti aluseks standardhälbe ellips ning kasutati ArcMap 10.2 tööriista *Directional Distribution*. Loodava ellipsi kuju määravad x- ja y-teljed, mille pikkus on määratud asukohapunktide standardhällbega nendes suundades. Ellipsi loomisel võeti kasutusele ühe standardhällbe ellips, sest see kattis konkreetseid andmeid arvestades piisavalt

suure hulga andmepunktidest. Kahe või kolme standardhälbe ellips oleks paisutanud ellipsi pindala liialt suureks.

Lisaks ellipsi loomisele arvutati välja ka ellipsite pindala iga uuringus osaleja kohta.

2.2.6 Konvekspolügooni meetod

Konvekspolügooni loomiseks viidi läbi mitu erinevat andmete töötlemise etappi, eelkõige selleks, et vältida lihtsa konvekspolügooni loomisega seotud potentsiaalseid vigu (vt. ptk 1.6.2). Eeskujuks võeti α -hull meetod, mis annab palju täpsema kirjelduse areaali suurusest ning võimaldab vajadusel jagada polügooni mitmeks osaks. (Burgman, Fox 2003)

1. Tehti Delauney triangulatsioon mõõdetud punktidest kasutades QGIS Desktop 2.8.1 tööriista *Delauney Triangulation*. Selle abil tõmmati iga andmepunkti vahele joon nii, et jooned omavahel ei ristu. Kokku loodi iga kihi kohta üks paljudest kolmnurkadest koosnev polügoon.
2. Moodustunud kolmnurgad tehti joonelementideks ArcMap 10.2 tööriista *Split Line at Vertices* abil.
3. Arvutati välja pikkus iga joonelemendi kohta.
4. A -hull meetod eeldab, et ära kustutatakse kõik jooned, mille pikkus on x korda suurem kui keskmine pikkus. Kordaja x valimiseks katsetati kolme erineva kordajaga. Kordaja 2 puhul oleks allesjäänud kolmnurkade arv ja pindala olnud liiga väike, pealegi oleks polügoon paljudel juhtudel jagunenud mitmeks osaks. Kordaja 4 puhul jäid aga alles liialt suured kolmnurgad, mis oleks polügooni pindala jätnud ebamõistlikult suureks ja poleks peegeldanud tegelikku liikumisareaali. Seetõttu valiti kordajaks 3, mis oli kompromiss eelneva kahe vahel.
5. Kustutati kõik jooned, mis olid üle kolme korra pikemad kui keskmine joone pikkus.
6. Leiti areaali suurus, liites kokku kõikide allesjäänud kolmnurkade pindalad.

2.2.7 Korrelatsioonikordajate leidmine

Tööreiside keskkonnakulu hindamiseks eri meetodite abil tuleb aru saada sellest, kas ja milline statistiline seos eksisteerib kolme eeltoodud meetodi vahel. Selleks pandi iga osaleja kohta tabelisse kirja kumulatiivne distant, standardhälbe ellipsi pindala ning konvekspolügooni pindala. Analüüsiks kasutati programmi Statistica, mille abil leiti lineaarne korrelatsioonikordaja (r):

- kumulatiivse distantide ja ellipsi pindala vahel;
- kumulatiivse distantide ja konvekspolügooni pindala vahel;

- standardhälbe ellipsi ja konvekspolügooni pindala vahel.

Lisaks pandi kirja iga saadud korrelatsioonikordajate statistiline olulisus (p).

3. Tulemused ja arutelu

20 inimese andmete põhjal tuli kokku 73 päeva, kus sooritati tööreise. Keskmiselt tuli kuu aja jooksul tööreiside arvuks 3,65 tööreisi inimese kohta, kusjuures reiside arv erines märkimisväärselt. Täpsem ülevaade tööreisidest on tabelis 1.

Tabel 1. Tööreise iseloomustavad näitajad

KOOD	Kumulatiivne distsants (km)	Ellipsi pindala (km ²)	Konveks- polügooni pindala (km ²)	Tööreiside arv	Päeva jooksul läbitud tööreisi keskmine distsants (km)
1	189	681	750	1	189
2	1487	18658	7577	5	297
3	369	3602	2076	1	369
4	1185	4444	1975	7	169
5	216	276	281	1	216
6	179	613	352	1	179
7	1036	5639	4402	5	207
8	502	4678	1424	2	251
9	1819	8795	3963	7	260
10	1456	1348	542	5	191
11	1048	1653	1161	6	175
12	1376	2320	1110	4	344
13	957	2599	3598	4	239
14	1370	1390	990	4	343
15	1240	1765	700	6	207
16	321	1458	641	1	321
17	1357	5506	1762	7	194
18	631	1286	714	2	316
19	905	14376	4695	3	302
20	350	1269	931	1	350
Kokku	17993	82356	39644	73	---
Keskmine	899,7	4117,8	1982,2	3,65	261
Mediaan	996,5	2042,5	1135,5	4	255

3.1 Läbitud teekond

Kokku läbisid uuringus osalejad tööreiside käigus mobiilpositsioneerimise andmetele tuginedes 17 993 km, keskmiselt 900 km osaleja kohta.

Tööreiside andmepunktide viimine joonelemendi kujule võimaldab üpris hästi visualiseerida reiside sihtkohti ning isegi eristada maanteed pidi liikumist rongisõidust (joonis 5). Kahjuks pole aga pelgalt mobiilpositsioneerimise andmestiku põhjal võimalik eristada sõiduvahendit, nii et keskkonnamõju hindamiseks on vaja ka lisainfot selle kohta, millist liikumisviisi kasutati.



Joonis 2. Osaleja koodiga „14“ tööreisid. Joonisel on kujutatud marsruutide erinevust rongiga ja autoga/bussiga reisides. Aluskaart: Maa-amet

Kumulatiivse distantssi täpsuse analüüs (tabel 2) näitas, et praegust andmestikku kasutades on maanteed või raudteed mööda läbitud tegelik teepikkus mobiilpositsioneerimise andmestiku põhjal arvatust 1,09 korda pikem. See kordaja võib küll tunduda väike, aga mida suurem on andmemaht, seda suuremaks muutub vahe absoluutnäitajates. Antud kordajat teades on meil võimalik leida tegelikkusele paremini vastav hinnang tööreiside jooksul läbitud vahemaast. Distantssi ja sõiduvahendit teades on aga võrdlemisi lihtne välja arvutada näiteks tööreisi süsiniku jalajälg (vt Poom *et al.* 2015).

Tuleb aga silmas pidada, et leitud täpsus on rakendatav ainult aktiivse mobiilpositsioneerimise ning samasuguse asukoha määramise intervalliga (antud juhul 15 min). Kui ajaline intervall muutub pikemaks, suureneb ka potentsiaalne viga, sest andmepunktide tihedus väheneb ja teekond muutub n-ö sirgemaks.

Passiivse mobiilpositsioneerimise puhul satub kumulatiivse distantssi meetod veel suurema küsimärgi alla, sest siis puudub regulaarne asukoha määramise intervall täielikult ning asukoht registreeritakse vaid telefonikõne või SMS sõnumi saatmise/saamise ajal (Ahas 2007). Sel juhul

saaks reiseid distantse leida usaldusväärsemalt vaid kindlate ankurpunktide vahel, kuid tööreide sihtkohad ei pruugi ankurpunktiks kujuneda. Regulaarseid tööreide sihtkohti, mis moodustavad eraldi ankurpunktid, võib olla aga ilma täiendavate kvalitatiivsete andmeteta raske just tööreisi ankruna määratleda.

Tabel 2. Mobiilpositsioneerimise abil mõõdetud vahemaa võrrelduna tegeliku teepikkusega.

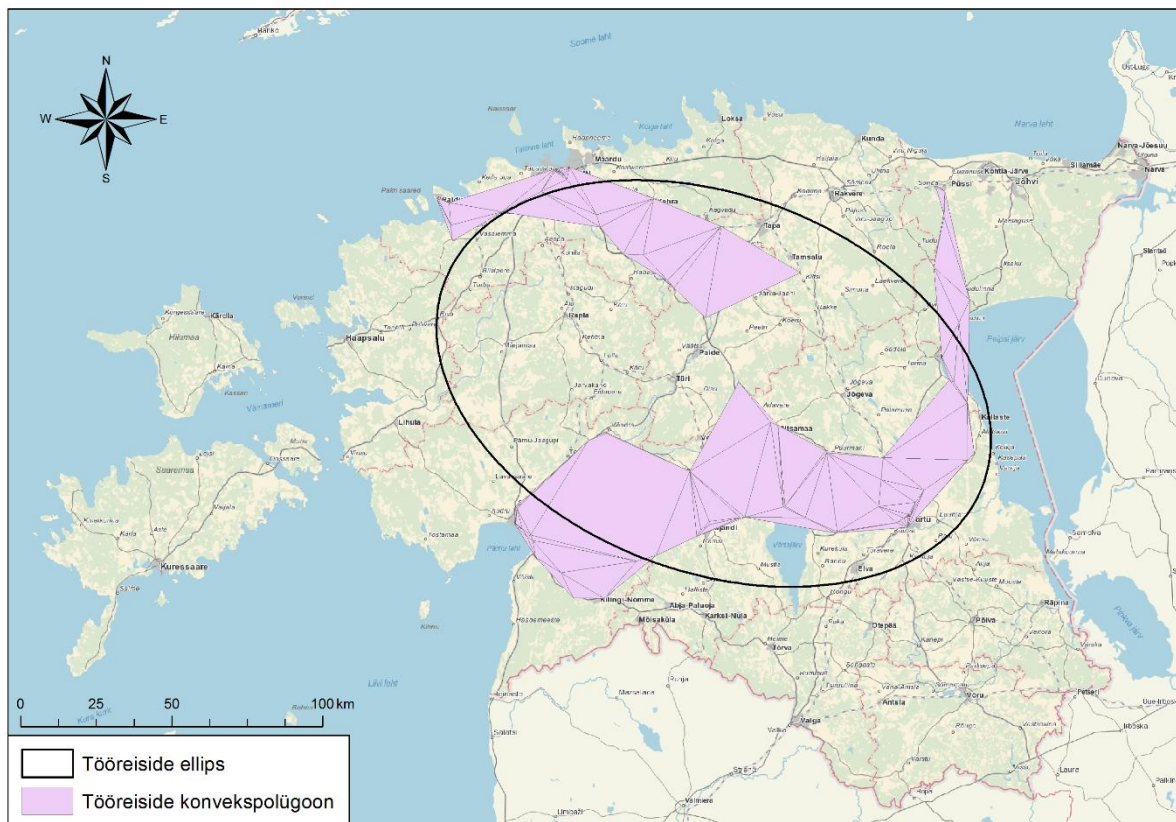
Teekonna alguspunkt	Teekonna lõpp-punkt	Mobiilpos. abil leitud distant (km)	Mööda maanteed/ raudteed mõõdetud vahemaa (km)	Tegeliku distantse ja mobiilpos. abil leitud vahemaa suhe
Sikupilli, Tallinn	Peetri tn, Tallinn	46	53	1,16
Raekoja plats, Tartu	Sillaotsa tn, Paide	91	101	1,11
Mõigu, Tallinn	Tartu vanalinn	163	181	1,11
Viljandi mnt ring, Tartu	Nõmme keskus, Tallinn	179	188	1,05
Nõmme keskus, Tallinn	Pakri tn, Paldiski	38	43	1,13
Kesklinn, Tartu	Karja tn, Sinimäe	148	159	1,07
Kesk tn, Sinimäe	Tähtvere, Tartu	149	160	1,07
Tähtvere, Tartu	Balti Jaam, Tallinn (rongiga)	172	190	1,10
Kesklinn, Tartu	Tõnismäe, Tallinn	180	186	1,03
Tõnismäe, Tallinn	Tartu vanalinn	168	185	1,10
Mõisavahe, Tartu	Balti Jaam, Tallinn (rongiga)	167	190	1,14
Mõisavahe, Tartu	Juhkentali, Tallinn	165	187	1,13
Riiamäe, Tartu	Balti Jaam, Tallinn	172	187	1,09
Kesklinn, Tartu	Toompea, Tallinn	168	186	1,11
Tallinna bussijaam	Raekoja plats, Tartu	166	182	1,10
Uus tn, Tartu	Jaama puistee, Valga	82	88	1,06
Sikupilli, Tallinn	Kesklinn, Tartu	164	183	1,11
Viru ring, Tallinn	Riiamäe, Tartu	169	185	1,10
Pärnu vanalinn	Raadi, Tartu	156	172	1,10
Tartu vanalinn	Papiniidu, Pärnu (Viljandi, Suure-Jaani ja Pärnu kaudu)	172	175	1,02
Kokku		2914	3181	1,09

3.2 Ellipsi meetod

Standardhälbe ellipsi puhul tuli esimese asjana välja see, et selle pindala kõigub väga suurtes piirides (tabel 1), kõige suurema ja väiksema ellipsi vahe on pea 70-kordne. See on seletatav sellega, kuidas kaalutud ellips töötab ja miks see väikeste andmemahutudega nii hästi ei sobi.

Standardhälbe ellips võtab telgede keskpunkti määramisel ja telgede pikkuse arvutamisel arvesse punktide tihedust. Antud tööga analoogsed näites tähendaks see seda, et kui keegi on teinud 10 reisi Tartu ja Tallinna vahel ning ühe reisi Elvasse, siis see küll mõjutab ellipsi suunda ning pindala, aga see mõju on proportsionaalne salvestatud asukohapunktide arvuga teekonnal ja sihtkohas.

Praeguse töö andmestiku probleem on aga see, et uuringu periood on võrdlemisi lühike ning tööreisi on võrdlemisi vähe. See tähendab, et iga tööreisi osakaal on väga suur. Joonisel 3 on näha, kuidas osaleja „2“ tööreisid kaalutud ellipsi kujul välja näevad – ellips katab suure osa Mandri-Eesti territooriumist ja mingeid tähenduslikke järeldusi keskkonnakulu seisukohast on üpris raske teha.



Joonis 3. Osaleja koodiga „2“ tööreiside ellips ja konvekspolügoon. Aluskaart: Maa-amet.

Ellips on siiski üldistus andmekogust (Ahas *et al.* 2007), mis tähendab, et on vaja piisavalt andmeid, mida üldse generaliseerida saab. Eeldusel, et osaleja tööreisid ei jagune võrdselt sihtkohtade vahel, saaks ilmselt aasta aja jooksul ellipsi meetodi põhjal rohkem järeldusi teha.

Samas, mõningaid järeldusi saab ellipsi põhjal teha ka praegu. Joonisel 4 välja toodud ellipsilt on näiteks näha, et peamiseks tööreiside suunaks on Tallinn, aga ellipsi „ümarus“ viitab sellele, et sihtkohti on olnud ka teisi ja/või on liikumiseks mingil osal kasutatud rongi.

Passiivse mobiilpositsioneerimise puhul muutub ellipsi generaliseerimisvõime eriti oluliseks, sest potentsiaalselt on võimalik uuringusse kaasata üle poole miljoni inimese (Järv 2014).

3.3 Konvekspolügooni meetod

Konvekspolügooni puhul on pindalade varieeruvus võrreldes ellipsiga väike (tabel 1): erinevus suurima ja väikseima pindalaga polügooni vahel on „vaid“ 27 korda.

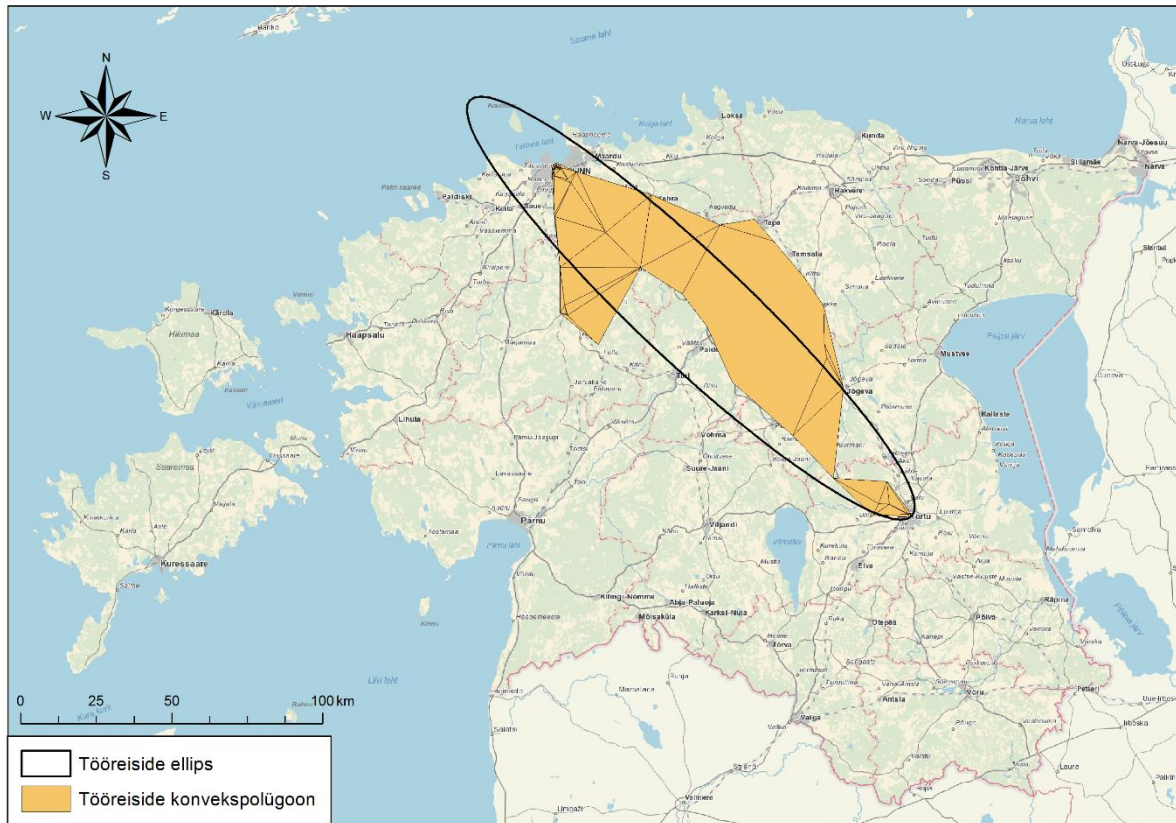
Konvekspolügoon sobib praeguse uuringu väikse andmemahuga paremini kui kaalutud ellips, eriti kui visuaalset poolt uurida. Näiteks osaleja „7“ konvekspolügoon (joonis 4) näitab üpris selgesti ära, et lisaks maanteed mööda Tallinnas käimisele on külastatud ka Rapla piirkonda ning ilmselt on käidud Tallinnas ka rongiga. N-ö auk Jõgeva ja Tartu vahel tuleneb *A-hull* meetodi eripärast, kus kustutamisele lähevad kõik jooned, mis on x -korda (antud töös 3 korda) pikemad kui keskmine joone pikkus. Kui eesmärgiks oleks saavutada konvekspolügoonile kõige „realistlikum“ kuju, siis saaks jooni ka manuaalselt kustutada, aga sel juhul ei moodustuks eri osalejate konvekspolügoonide pindala enam samadel alustel ning seda ei saaks analüüsil kasutada.

A-hull meetodi anomaaliat on näha ka joonisel 3, kus konvekspolügoon on jagatud kaheks osaks. Põhjuseks on jällegi teatud piirist pikemate joonte kustutamine, mis võib viia selleni, et üks polügoon jaguneb mitmeks tükiks – kuju poolest on see ebaloomulikum, aga pindala poolest täpsem.

Joonisel 3 tasub anomaaliale vaatamata pöörata tähelepanu sellele, et peamised tööreiside sihtkohad on siiski üpris hästi näha: Tallinn, Pärnu, Jõhvi, Paldiski. Pärnu puhul on näha isegi kaks eri marsruuti.

Võib aga arvata, et suurte andmehulkade puhul muutuks konvekspolügoon sisuliselt kasutuks. Kuna konvekspolügoon ei võta arvesse punktide tihedust, siis käsitletakse igat punkti sama kaaluga. Kui näiteks töötaja on aasta jooksul kord nädalas sõitnud Tallinnasse ja tagasi ning

vaid korra käinud Pärnus ja Narvas, siis ei tule polügooni kuju või pindala mõttes kuidagi välja, missuguse intensiivsusega sihtkohti külastatud on. Sihtkohtade külastamise arv on aga oluline aspekt keskkonnakoormuse mõõtmisel.



Joonis 4. Osaleja koodiga „7“ tööreiside ellips ja konvekspolügoon. Aluskaart: Maa-amet.

3.4 Meetodite omavaheline võrdlus

Kuna antud töö puhul võeti fookusesse ainult tööreisid ning jäeti andmetest kõrvale kõik ülejäänud sõidud, võib öelda, et andmepunktide põhjal läbitud teekonna joone loomine ja selle pikkuse arvutamine annab meile kõige täpsemalt informatsiooni selle kohta, kui palju osalejad tööreise tegid. Lisaks arvutatakse näiteks süsiniku jalajälge läbitud kilomeetrite arvu järgi.

Tabelist 3 on välja toodud lineaarsed korrelatsioonikordajad eri meetodite vahel. On näha, et kumulatiivse distantse ning ellipsi pindala vahel on nõrk seos, lisaks on nõrk korrelatsioon ka kumulatiivse distantse ja konvekspolügooni pindala vahel. Samas pole see seos statistiliselt usaldusväärne.

Võrdlemisi huvitav tulemus oli see, et ellipsi pindala ning konvekspolügooni pindala vahel on tugev seos ja see on statistiliselt usaldusväärne. Tugev seos ellipsi ja konvekspolügooni vahel

viitab sellele, et teatud kitsastel juhtudel võib leida konvekspolügoonile kasutusalasid ka inimgeograafia raames.

Tabel 3. Lineaarsed korrelatsioonikordajad kasutatud meetodite vahel.

Meetod 1	Meetod 2	Lineaarne korrelatsioonikordaja r	Statistiline olulisus p
Kumulatiivne distant	Standardhälbe ellipsi pindala	0,435	0,056
Kumulatiivne distant	Konvekspolügooni pindala	0,444	0,050
Standardhälbe ellipsi pindala	Konvekspolügooni pindala	0,914	0,000

Konvekspolügoon näitab ökoloogias liigi absoluutset areaali (Nilsen *et al.* 2008). Inimene on ilmselt liiga mobiilne, et see pikema ajalise ulatusega uuringus mõistlik meetod oleks, aga lühemaajaliste uuringute puhul võiks seda liikumisareaali ulatuse uurimiseks isegi kasutada või vähemalt selle kasulikkust katsetada.

Kui tähelepanu all on aga konkreetse otstarbega reisirajad, antud juhul tööreisid, siis on raske õigustada kaalutud ellipsi või konvekspolügooni kasutamist. Nad võimaldavad küll näidata ligikaudse ala ning suuna, kuhu tööreise tehti, aga see annab vähe informatsiooni selle kohta, milline oli tegelikult läbitud distant. Näitena võib tuua ühe osalise, kes tegi kuu jooksul kaks tööreise Pärnusse ning ühe tööreise Tallinna piirkonda. Tema puhul tuli ellipsi pindala väärtuseks tervelt 14 376 km², mis oli suuruselt teine ellips, läbitud distantilt jäi ta aga osalejate keskele – 905 km.

Lisaks kerkib esile küsimus, kas tööreise oleks võimalik uurida pelgalt mobiilpositsioneerimise andmete põhjal, st. ilma intervjuu andmestikuta. Ahase jt (2010) uurimustöös on modelleeritud inimestele olulised ankurpunktid ainult mobiilpositsioneerimise andmete põhjal. See võimaldaks andmetest välja jätta sõidud kodust tööle ja tagasi ning regulaarsed erasõidud, näiteks poeskäimised. Kui oleks soov uurida ainult pikamaa ärireise, saaks andmetest eemaldada ka need sõidud, mis toimuvad töö-kodu ning teiste igapäevaste ankurpunktide lähedal. Ajaliste piirangutega (näiteks tööpäevad 7-19, nagu antud uuringu esimeses etapis) saaks erareiside hulka andmetest veelgi vähendada, kuid mitte täielikult eemaldada. Üks võimalus oleks alles jätta kõik pikamaa-reisid ning toetuda mingile üldisele hinnangule selles

osas, kui suure osakaalu ärireisid kogureisidest moodustavad. USA-s on see 16% kõigist pikamaa reisidest (Aguilera 2008), Eestis tuleks see osakaal välja selgitada küsitluse käigus.

Andmete töötlemise mõttes oli kõige lihtsam ilmselt ellipsi meetod ning kuigi praeguse uurimustöö puhul tehti andmetöötlus iga kihi kohta eraldi, ei tohiks olla probleeme selle protsessi automatiseerimisega. Kumulatiivse distantssi meetod oli pisut töömahukam, kuid ka sellel juhul ei tohiks olla probleeme protsessi automaatsemaks muutmisega. Pigem on probleem selles, et passiivse mobiilpositsioneerimise puhul ei oleks kumulatiivse distantssi meetod just parim lahendus. Konvekspolügooni puhul (α -*hull* meetodil) oli tööetappide arv kõige suurem ning seetõttu võib ka protsessi automatiseerimine keeruliseks osutuda, sest iga tööetapp tekitab potentsiaalse probleemikoha, mida lahendada peab.

Praegune töö põhines aktiivse mobiilpositsioneerimise andmetel, kuid oluliselt suurem andmemahut ning seega suurem uurimispotentsiaal peitub passiivses mobiilpositsioneerimises, mis aga nõuab mõnevõrra teistsuguseid andmetöötluse meetodeid. Mõningaid oletusi sai töös tehtud, kuidas tööreise suurte andmekogudega uurida, aga seda tuleks edaspidi põhjalikumalt lahata.

Kokkuvõte

Käesolev uurimustöö annab ülevaate kolmest erinevast geoinformaatilisest meetodist, mille abil töödelda mobiilpositsioneerimise teel kogutud andmeid keskkonnakulu määramise eesmärgil. Täpsemalt on vaatluse all 2013. aasta väikeettevõtete liikumiskäitumise uuringuga kogutud tööreiside andmed ja antud meetodite sobivus tööreiside uurimiseks. Kokku läks meetodite võrdlemisel käiku 20 inimese kuu aja jooksul tehtud tööreiside andmestik. Selle perioodil vältel tehti kokku 73 tööreisi ning nende käigus läbiti mobiilpositsioneerimise andmestikule tuginedes 17 993 km.

Läbitud distantssi täpsuse analüüsimisel selgus, et tegelik distantss on mobiilpositsioneerimise andmete põhjal arvutatust keskmiselt 9% suurem, aga kuna viga on alati ühes suunas, siis saab sellega lihtsalt arvestada.

Keskkonnakoormuse hindamiseks sobiski kõige paremini kumulatiivse distantssi meetod, sest läbitud distantss on näiteks süsiniku jalajälje arvutamisel otseses korrelatsioonis jalajälje suurusega.

Standardhälbe ellips antud väikse andmehulga töötlemiseks kõige paremini ei sobinud. Ellipsi kuju näitas tööreiside suunda kõige paremini vaid siis, kui tööreiside sihtkohti oli mõõtmisperioodi jooksul vähe, vastasel juhul muutus ellipsi suund ebamääraseks ning mitme sihtkoha olemasolul võis hõlmata juba suure osa Eesti pindalast. Lisaks polnud pindalal ja kuu jooksul läbitud distantssil omavahelist seost.

Seni ökoloogilistes uuringutes kasutusel olnud konvekspolügooni meetodit kasutati inimeste liikumise analüüsiks siinse uurimuse näol teadaolevalt esmakordselt. Konvekspolügooni meetod kannatas ellipsiga sarnaselt selle all, et pindalal ning läbitud distantssil puudus omavaheline seos, samas säilitas konvekspolügoon enamasti paremini tööreiside suunda. Teatud kitsastel juhtudel võiks kaaluda konvekspolügooni kasutamist inimgeograafilistes uurimustes, näiteks lühiajalise liikumisareaali kajastamiseks. Pikema uurimisperioodi jooksul konvekspolügooni täpsus oluliselt väheneb.

Tugevalt positiivne ning statistiliselt usaldusväärne korrelatsioonikordaja esines standardhälbe ellipsi pindala ja konvekspolügooni pindala vahel. Teiste meetodite vahel statistiliselt usaldusväärset korrelatsioonikordajat ei esinenud.

Methods of analysing mobile positioning data of business travel

Taavi Rebane

Summary

The study looks at three different methods of analysing mobile positioning data of business travel. The main goal of this research is to find out which methods and to which degree can be used to make meaningful conclusion about the environmental impact of business travel.

The study gets its data from the 2013 survey carried out among 30 participants in 3 small companies, mostly in Tartu. This survey gathered data about workers' travel habits in the means of an interview and active mobile positioning between 30 April and 31 May 2013. Mobile positioning data was collected from 25 people out of the total 30 who took part in the survey.

Mobile positioning data was linked to the interview information which enabled to separate business trips from other trips like commutes and personal travel. The remaining work trip data was then processed with ArcMap 10.2 and QGis Desktop 2.8.1.

Firstly the data points were used to form line features for each of the participant. This enabled to calculate the cumulative distance the participants travelled during business trips.

Secondly the data points were used to form standard deviation ellipses for each of the participant and the areas for the ellipses were also calculated.

Thirdly Delauney triangulation and α -hull method was used to create convex polygons to represent the area of the work travel.

Next the preciseness of the cumulative distance method was found by comparing the calculated distances to the real distances when travelling by road or rail.

The most useful method turned out to be the cumulative distance method. The average error was 9% but since the calculated distance was always smaller than the real distance it would be easy to counteract this error. The cumulative distance method also allowed for a clear the visualization of the destinations and different routes taken for business trips.

Standard deviational ellipse was rather poor at assessing work trip data when working with few data points. The area of the ellipse had little to nothing to do with the actual distance covered overall and in most cases the ellipse failed to show a clear direction for the work trips.

The convex polygon method was also on par with the standard deviational ellipse when looking at the area, giving no meaningful information about the intensity of work travel. It did however provide a more clear view of the destinations for work travel.

Regression analysis showed a weak and statistically insignificant connection between cumulative distance and between the areas of both the standard deviation ellipse and the convex polygon. There was, however, a significant correlation ($r=0,914$) between the areas of the ellipse and the polygon. Since the ellipse has been used before when looking at human travel behavior in other areas there is a chance that the convex polygon could be used there as well under certain circumstances.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- Aguilera, A.** (2008). Business travel and mobile workers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(8), 1109–1116.
- Ahas, R., Aasa, A., Silm, S., & Tiru, M.** (2010). Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(1), 45–54.
- Ahas, R., Laineste, J., Aasa, A., & Mark, Ü.** (2007). The spatial accuracy of mobile positioning: Some experiences with geographical studies in Estonia. In: Gartner, G., Cartwright, W., Peterson, M.P. (Eds.), *Location Based Services and TeleCartography*. Springer, pp. 122–146.
- Ahas, R., Silm, S., Järv, O., Saluveer, E., & Tiru, M.** (2010). Using mobile positioning data to model locations meaningful to users of mobile phones. *Journal of Urban Technology*, 17(1), 3–27.
- Becker, G. S.** (1965). A theory of the allocation of time. *The Economic Journal*, 75(299), 493–517.
- Belton, L. & De Coninck, F.** (2006) Des frontières et des liens. Les topologies du privé et du professionnel pour les travailleurs mobiles. *Réseaux*, 140, 67–100.
- Burgman, M. A., & Fox, J. C.** (2003). Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation*, 6(01), 19–28.
- Chapman, L.** (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of transport geography*, 15(5), 354–367.
- Denstadli, J. M., Gripsrud, M., Hjorthol, R., & Julsrud, T. E.** (2013). Videoconferencing and business air travel: Do new technologies produce new interaction patterns? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 29, 1–13.
- Eesti Raudteede** Jaamade ja vahemaade kaart 2014.
<http://www.evr.ee/sites/default/files/pildid/EVR%20skeem%202014.pdf> [Vaadatud 10.03.2015]
- Faulconbridge, J. R., Beaverstock, J. V., Derudder, B., & Witlox, F.** (2009). Corporate ecologies of business travel in professional service firms working towards a research agenda. *European Urban and Regional Studies*, 16(3), 295 – 308.

- Forrest, T. L., & Pearson, D. F.** (2005). Comparison of trip determination methods in household travel surveys enhanced by a Global Positioning System. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1917(1), 63–71.
- Gronau, R.** (1976). Leisure, home production and work – the theory of the allocation of time revisited. *The Journal of Political Economy*, 85 (6), 1099–1124.
- Gössling, S., Hansson, C. B., Hörstmeier, O., & Saggel, S.** (2002). Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. *Ecological economics*, 43(2), 199–211.
- Holley, D., Jain, J., & Lyons, G.** (2008). Understanding business travel time and its place in the working day. *Time & Society*, 17(1), 27–46.
- Houston, D., Luong, T. T., & Boarnet, M. G.** (2014). Tracking daily travel; Assessing discrepancies between GPS-derived and self-reported travel patterns. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48, 97–108.
- Järv, O., Ahas, R., & Witlox, F.** (2014). Understanding monthly variability in human activity spaces: A twelve-month study using mobile phone call detail records. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 122–135.
- Newsome, T.H., Walcott, W.A. & Smith, P.D.** (1998). Urban activity spaces: Illustrations and application of a conceptual model for integrating the time and space dimensions. *Transportation* 25: 357–377.
- Nilsen, E. B., Pedersen, S., & Linnell, J. D.** (2008). Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions? *Ecological Research*, 23(3), 635–639.
- Pas, E. I., & Harvey, A. S.** (1997). Time use research and travel demand analysis and modelling. *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Pergamon, Oxford, 315–338.
- Patterson, P.** (2008). High fliers: Business leaders' views on air travel. institute of directors. https://www.iod.com/MainWebSite/Resources/Document/policy_paper_high_fliers.pdf [vaadatud: 4.03.2014]
- Poom, A., Orru, K., Ahas, R.** 2015. Carbon footprint of business travel in knowledge-intensive service sector. Manuscript submitted to the Summer School of Doctoral School in Economics and Innovation 2015.
- Puussaar, A.** (2014) Mobiilne positsioneerimine. <http://www.slideshare.net/aarepuussaar/mobiilne-positsioneerimine> [Vaadatud 25.05.2014]

Reinau, K. H., Harder, H., & Weber, M. (2014). The SMS–GPS-Trip method: A new method for collecting trip information in travel behavior research. *Telecommunications Policy*, 39, 363–373.

Rodrigue, J. The environmental impacts of transportation.
<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/ch8c1en.html> [Vaadatud 15.05.2014]

Seaman, D. E., & Powell, R. A. (1996). An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology*, 2075–2085.

Zhang, M. (2005). Exploring the relationship between urban form and nonwork travel through time use analysis. *Landscape and Urban Planning*, 73(2), 244–261.

Westman, M. & Etzion, D. (2002) The impact of short overseas business trips on job stress and burnout. *Applied Psychology: An International Review*, 51(4), 582–592.

World Tourism Organization (2014). UNWTO Tourism Highlights. [Vaadatud 03.05.2015]

Ülengin, F., Kabak, Ö., Önsel, Ş., Ülengin, B., & Aktaş, E. (2010). A problem-structuring model for analyzing transportation–environment relationships. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 844–859.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Taavi Rebane,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Mobiilpositsioneerimise andmete töötlemise meetodid tööreiside näitel“, mille juhendaja on Age Poom
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **25.05.2015**